

化工原理设计导论

成都科技大学《化工原理设计导论》编写组 编著

● 张洪沅 审定

● 成都科技大学出版社

内容简介

本书系根据成都科技大学化工原理教研室多年教学实践,参考国内外有关资料,并参照化学工业部教育司颁布的“化工原理指导性教学大纲”和“课程教学基本要求”编写的。书中着重介绍了五类常用的典型化工单元操作设备的设计基本原理和方法,以及辅助设备的设计和选型,编制了必要的设计基本资料,并论述了设计中的教学法问题,有利于教与学。全书内容包括:绪论、物料衡算和能量衡算、课程设计的资料与数据、板式换热器的设计、填料吸收塔的设计、板式精馏塔的设计、蒸发设备的设计、气流干燥装置的设计等七章。可供高等院校化工及有关专业(本科或专科)用作“化工原理”课程设计指导书及基本参考资料,亦可供化工工程技术人员参考。

本书由成都科技大学化工原理教研室王能勤主编,张洪沅教授审定。参加编写的人员有:王能勤(绪论),傅运清(第一、五、六章),陈明凤(第二、三、七章),吴贤培(第四章)。

化工原理设计导论

成都科技大学《化工原理设计导论》编写组编著

张洪沅 审定

成都科技大学出版社出版、发行

四川省新华书店 经销

中国科学院光电技术研究所印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张: 10.125

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数 1—3500册 字数: 21.9万

ISBN7—5616—0797—0/TQ·47

定价: 3.20元

绪 论

一、课程设计的目的与要求

“化工原理”课程对化学工程技术人员的培养，具有极为重要的作用。化工原理课程设计通常安排在学生学完该课后进行，是一个具有总结性的重要教学环节。同时此设计也是在学习了其它各门前修基础课后进行的。因此，化工原理设计是综合应用本课程和前修课程所学知识，完成以某项单元操作为主的一次设计实践。通过此设计工作，使学生掌握化工设计的基本程序和方法，在以下能力方面得到一次基本锻炼：

1. 学会如何查阅资料，使用手册、图表，选用合适的
数据及计算公式等；

2. 合理确定工艺流程及其保证实现的措施；

3. 正确进行化工单元操作的工艺计算；

4. 确定设备结构的造型及尺寸计算，以及辅助设备的
选型计算；

5. 能从技术上的可行性、先进性和经济上的合理性来
评价设计内容，树立正确的设计思想和实事求是、严肃负责
的工作作风；

6. 能以简洁文字、图表和绘制流程图与设备图的方式，
将设计思想和结果表达出来。

总之，化工原理设计是培养学生深入掌握和灵活运用所学的知识，特别是较全面地运用该课程的知识。并应注意培养学生独立工作能力和分析问题的方法。

二、课程设计的内容

化工原理课程设计的基本内容为：

1. 设计方案简介：对给定或选定的工艺流程、主要设备的型式进行简要的论述。

2. 主要设备的工艺设计计算：物料衡算。工艺参数的选定。设备的结构设计和工艺尺寸的设计计算。

3. 辅助设备的选型：典型辅助设备主要工艺尺寸的计算，设备规格型号的选定。

4. 工艺流程图：以单线图的形式绘制，标出主体设备与辅助设备的物料方向，物流量、能流量，主要测量点。

5. 主要设备的工艺条件图：图面应包括设备的主要工艺尺寸，技术特性表和接管表。

上述内容是对每个学生的基本要求。但对某些学生在能力及时间许可的条件下，可酌情增加一些内容。

设计结束阶段，每个学生都须用流畅简洁的文字、清晰的图表、系统的计算编写出设计说明书，很有条理地将设计内容表达出来。

设计说明书的内容包括：设计任务书；目录；设计方案简介；工艺计算及主要设备设计；辅助设备的计算和选型；设计结果汇总；设计评述；参考资料。

设计者编写设计说明书及绘图必须严肃认真，不能马虎从事。说明书要有分析、有论述、有计算、有结果。只有单纯的数学计算而无论述分析，不能从技术经济方面进行评述不同流程、设备及操作的，其设计是不合格的。还应注意，在计算和绘图方面如有重大原则性错误的，也是不合格的设

计。这是一种对学生表达能力培养的方式，严格要求。

全部设计完成后，进行考核答辩以评定设计成绩。

三、课程设计的准备工作

由于课程设计的内容较多，其涉及的面也较广，而进行设计的时间又有限。所以在进行设计前需要注意作好以下准备工作：

1. 安排好计划和指导工作：教研室在设计进行前，应拟出进行计划、安排好指导教师、题目类型及设计任务书，作好指导设计有关的教学准备。此外，对于学生设计时需用的参考资料以及图纸、绘图仪器等，都是不容忽视的问题，均要在设计前作出妥善安排；

2. 进行启发动员，布置设计任务：由于学生进行本设计乃是初次接触化工工程设计问题，与平时完成作业有很大差别，所以在进行设计前，有必要由教研室或指导教师作启发报告，使学生了解课程设计的目的、要求和作法。在报告后便可布置设计任务，发给学生每人一份任务不同或不完全相同的设计任务书；

3. 到现场调查，搜集资料，充实感性知识：如果学生在进行课程设计以前，没有接触过要设计的化工设备，则最好组织他们到附近参观比较典型的化工厂，重点了解要设计的典型化工设备、流程和操作，搜集有关资料及现场数据。充实学生对所要设计的化工设备，具备必要的感性知识。有利于对其将要设计的流程和设备尺寸，作出较正确的判断，而不致于设计出切合实际的流程和设备。同时也有利于学生绘制设备的结构图。

四、课程设计的指导工作

1. 拟出设计方案与进度计划：学生在接受设计任务并明确了设计的目的要求后，就可根据设计内容，抓紧查阅有关资料，充分运用自己现有的知识和所掌握的资料，在全面考虑问题的基础上，拟出设计方案，先是选定操作流程，然后拟出详细的设计步骤，并要求学生订出设计进度计划，以便进行检查和保证按时完成。学生选定流程、拟出设计步骤交指导教师审阅。然后可着手进行计算。一般应先作出物料衡算和热量衡算，再作主要设备的工艺和结构尺寸计算，然后对必需的辅助设备进行估算或选择。

2. 设计进行过程中的答疑：由于每个学生承担的设计任务有所不同，而且各自基础、想法和对问题的认识也不一样，在设计过程中将会遇到一些自己所不能解决的问题，这就需要指导教师进行答疑，以解答他们提出的问题和所遇到的困难。须根据各人的具体情况，进行启发诱导，帮助他们自己解决问题。不宜有问就答或讲得过于具体细致，以免影响学生独立思考。

3. 注意培养学生的独立工作能力：课程设计主要应由学生自己动手，注意培养他们的独立工作能力，要贯穿在整个设计过程的教学。如在对工程设计的一些方法和步骤，参考资料的查阅，生产数据和经验公式的选取，以及树立正确的设计观点和工作作风等方面的指导中。在设计方法上，除了要能熟练地运用平时学过的一些理论公式外，对经验公式和生产数据的分析运用，以及一些近似计算方法，都要求学生能得到充分的锻炼。对某些问题可能有不同的解法，也

可要求学生用几种方法求解，并进行分析比较，锻炼学生从多方面考虑问题的能力，并能选择合适的计算方法来求解。

4. 及时检查纠正设计中的问题；学生在设计中常有各种错误，若到设计完后才经教师发现，便来不及更改，从而影响设计质量。因此，在设计过程中，教师应随时了解学生进行设计的情况，并有必要对学生分别进行阶段检查。发现问题，及时加以指导和纠正，可减少不必要的返工并保证设计的质量。

建议在本课程设计过程中使用电算技术。应根据各院校与教研室的具体条件和可能性来决定。然而必须指出，绝大部分的计算工作仍应由学生用手算来完成。

设计者可结合设计任务的要求，在条件许可的情况下，尽可能广泛地查阅资料，搜集新的现场数据，以提高设计质量。

目 录

结论	(1)
第一章 物料衡算和能量衡算	(1)
第一节 概述	(1)
一、物料衡算和能量衡算的目的及重要性	(1)
二、物料衡算和能量衡算的进行步骤	(4)
第二节 物料衡算	(5)
一、总物料衡算式	(5)
二、物料衡算基准的选择	(9)
第三节 能量衡算	(13)
一、能量的形式	(13)
二、能量衡算	(15)
三、热焓的计算	(19)
第二章 设计资料与数据	(26)
第一节 设计资料与数据的来源	(26)
第二节 设计中工程参数的精确度	(28)
第三节 常用物质的物性数据	(28)
一、临界数据	(28)
二、密度	(33)
三、液体的体膨胀系数	(37)
四、蒸汽压	(37)
五、比热	(39)

六、汽化潜热	(43)
七、粘度	(47)
八、导热系数	(52)
九、扩散系数	(56)
十、表面张力	(60)
十一、汽液相平衡数据	(63)

第三章 板式换热器的设计 (73)

第一节 板式换热器的结构特点 (73)

一、板式换热器的特点 (73)

二、板式换热器的主要构件 (74)

第二节 板式换热器的流程组合 (79)

一、流程的组合型式 (79)

二、板式换热器规格型号的表示 (80)

第三节 板式换热器设计计算 (81)

一、设计方法 (81)

二、传热系数 (85)

三、板式换热器的阻力损失 (95)

第四节 板式换热器设计示例 (99)

第四章 填料吸收塔的设计 (107)

第一节 概述 (107)

一、填料塔的设计内容和步骤 (107)

二、吸收操作流程 (107)

第二节 填料 (108)

第三节 气—液相平衡关系与吸收剂的选择 (112)

一、吸收过程的气—液相平衡关系 (112)

二、吸收剂的选择·····	(118)
第四节 填料塔直径的确定·····	(120)
一、操作气速的确定·····	(120)
二、塔径计算·····	(122)
第五节 填料层高度的计算·····	(123)
一、计算填料层高度的公式·····	(123)
二、传质系数、传质单元高度·····	(124)
三、传质单元数的计算·····	(127)
四、填料塔外形尺寸确定·····	(127)
第六节 喷淋密度及填料层的阻力·····	(133)
一、喷淋密度的校核·····	(133)
二、填料层的阻力·····	(133)
第七节 填料塔的附属结构·····	(135)
一、支承板·····	(135)
二、喷淋装置·····	(137)
第五章 板式精馏塔的设计·····	(140)
第一节 概述·····	(140)
一、精馏塔设计的一般步骤·····	(140)
二、精馏装置流程·····	(141)
三、板式塔的类型·····	(141)
第二节 回流比、板效率和实际塔板数·····	(143)
一、回流比的选择·····	(143)
二、塔板效率和实际塔板数·····	(147)
第三节 精馏塔的工艺设计·····	(150)
一、塔板间距的选择和塔高计算·····	(150)
二、塔直径计算·····	(153)

三、塔板结构参数设计·····	(156)
第四节 塔板的负荷性能与流体力学验算·····	(166)
一、塔板的负荷性能·····	(166)
二、塔板的流体力学验算·····	(173)
第五节 板式精馏塔的辅助设备·····	(173)
一、塔顶冷凝器·····	(173)
二、再沸器·····	(173)
三、塔的接管·····	(174)
四、除沫器·····	(174)
第六章 蒸发设备的设计·····	(176)
第一节 概述·····	(176)
一、蒸发设计的步骤·····	(176)
二、蒸发器的型式及选择·····	(176)
第二节 蒸发操作的流程·····	(186)
一、蒸发操作流程·····	(186)
二、蒸发流程的确定·····	(189)
第三节 蒸发设备的工艺计算·····	(190)
一、蒸发设备的基本计算·····	(192)
二、蒸发器的工艺计算·····	(201)
三、蒸发设备的主要尺寸计算·····	(212)
第四节 蒸发器的辅助设备·····	(219)
一、汽—液分离器·····	(219)
二、蒸发冷凝器·····	(220)
第七章 气流干燥装置的设计·····	(232)
第一节 干燥器的选择·····	(232)
第二节 气流干燥装置概述·····	(235)

第三节	气流干燥器设计的基础知识	(239)
一、	气流干燥管中颗粒的运动特性	(239)
二、	气流干燥器中颗粒与流体间的传热	(244)
三、	气流干燥装置的阻力损失	(248)
第四节	气流干燥器的设计	(251)
一、	设计任务	(251)
二、	设计计算步骤	(252)
三、	气流干燥器设计举例	(271)
第五节	气流干燥器的附属设备	(292)
一、	加料器	(292)
二、	加热器	(295)
三、	产品捕集装置	(299)
四、	风机	(306)
主要参考文献		(308)

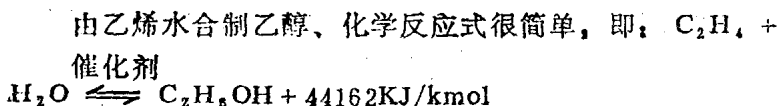
第一章 物料衡算和能量衡算

第一节 概 述

一、物料衡算和能量衡算的目的及重要性

在化工生产中，生产过程的各项技术指标，如：产品产量（即生产规模）、质量、原料消耗量、公用工程中的水、电、蒸汽消耗量、联产品和副产物的数量、以及其经济效益等，是组织生产者必须考虑的问题，也是进行设计的依据，为了使这些指标具有技术上的先进性和经济上的合理性，显然必须对生产过程作全面的衡量，首先是对局部的，或全过程作物料衡算和能量衡算以及总能量衡算，在此基础上拟定出先进的工艺流程，然后选用合适类型的设备，并对各设备的结构及尺寸进行设计。

如上所述，物料衡算和能量衡算为进行有关工艺流程和设备设计的基础。而影响化工生产过程的因素很多，生产流程也比较复杂，为了证明上述问题，兹举由乙烯气相水合制乙醇的生产过程为例，其简化流程如下：



操作压力： $(70 \sim 80) \times 10^5 \text{Pa}$

水与乙烯比：0.6~0.75

适宜空速：1800~2000米³/小时、米²催化剂

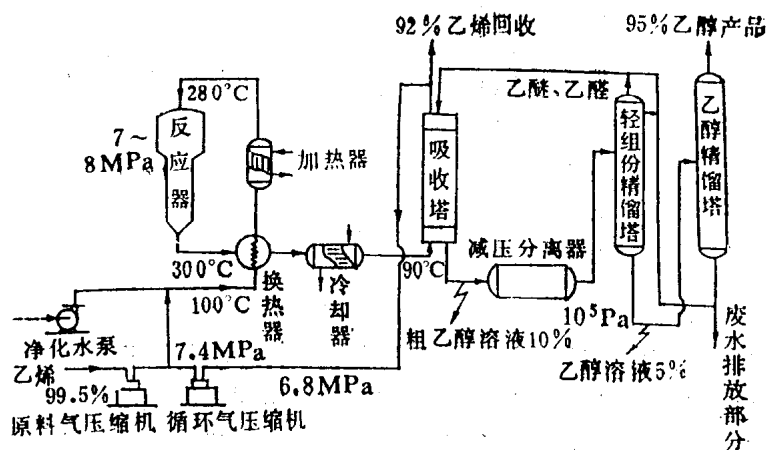


图 1-1 乙烯气相水合制乙醇工艺流程

在最适宜条件下，乙烯转化率 4 ~ 5 %，乙醇产率按转化了的乙烯计算为 95%，则副产品的产率为 5 %。

从流程上可看出：在工业上要实现这样一个简单的化工生产过程，且要具有一定的经济合理程度，所用的方法也相当复杂了。

流程中，反应器是主要设备，但老靠反应器却无法进行生产。在进行化学反应之前，反应物要达到一定纯度，彼此之间要配成一定比例，反应物的状态也有一定要求；反应后所得产物常是混合物，要得纯产品必须分离出杂质，然后加工到一定状态以符合成品的规格。为达这些目的，就需要使用很多完成相应任务的设备。

因此，安排组织生产过程，首先会遇到很多需要预先考虑的问题。如：一个年生产 80000 吨乙醇的工厂，需要多少

吨乙烯原料？消耗净化水多少？副产乙醚多少？排放废水和其他废物多少？在进行设备结构和尺寸设计时，也要首先知道输入、输出设备的各股物料量。物料经过整个生产过程或只通过一个设备时，发生些什么变化？在运动中又有分支、汇合、循环、排放等，情况比较复杂，都需计算出它们的量。

物料衡算，就是利用物质不灭的道理进行各物料量的计算。它也是热量衡算及其他工艺、设备计算的基础。

从流程上还可看出，反应是要在一定压力、温度和催化剂作用下进行，物料通过换热器吸收热量或放出热量。为了决定换热器尺寸，以及需要多少加热剂或冷却剂，必须先算出所需传递的热量。在整个生产过程中，有的设备处需通入热量，而有的设备处又需要取出热量，如何合理利用热能是值得研究的问题。热是能量的表现形式之一，在整个生产过程中，当没有热转变成其他能量，同时也无其他能量转变成热时，则在一定计算范围内（稳定过程），输入热与输出热相等。如换热器、加热器、冷却器、精馏塔、反应器等均属这种情况。若过程中发生各种形式之间的能量转换，如用泵输送液体，用压缩机输送气体，带动这些机械设备都需要能量，这又归结为电和燃料的消耗。为了计算能量的变化关系和确定生产中的能量消耗指标，就根据能量守恒的原则作总能量衡算。

总之，物料衡算和能量衡算均是所有工艺计算和设备设计的基础。在进行工艺设计时，作好这两个衡算，才可以确定实现一定生产任务所需设备的主要工艺尺寸及数目。在实际生产的技术管理中，则需要根据操作数据进行两个衡算，

以判断过程的效果和查定设备的效率。

二、物料衡算和能量衡算的进行步骤

物料衡算和能量衡算可按以下步骤：

- 1、画出简单的工艺流程图，用虚线画出衡算范围。
- 2、若有化学反应发生，写出化学反应方程式，并表明反应的热效应。
- 3、说明计算任务，并选出计算基准。
- 4、选择物理、化学、工艺常数以及计算所必要的数
据。
- 5、完成平衡计算。

工艺流程图可用草图形式，但应尽量详细，特别是所有物料线应全表示出来。在物料线上，最好写明有关物料量的数量、组成等已知数据，还应注明给定或已知的温度与压力条件，这就能清楚地看出还有哪些物流没有表现出来，哪些条件还未知，哪些数值必须用计算来确定，以便正确的确定衡算范围，使计算更简单。

对于简单物流情况，可以不用流程图，而用线路图简绘如图1—2。

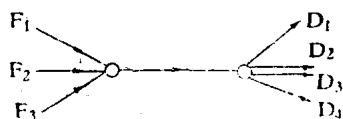


图1—2

对某些具有循环物流的

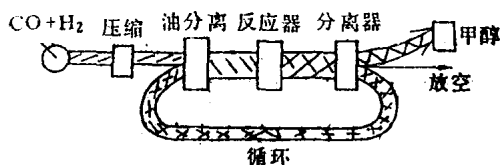


图1—3

较复杂情况，最好用线带来示，其线带宽度可在一定程度上定量的表征物流的数值。例如：

一氧化碳和氢合成甲醇的生产过程，物料流程可用图 1—3 线带表示。

以上均对连续过程而言，若对间歇操作过程，还需建立时间平衡。由于在设备中，条件及组成经常变化，因此在进行计算时，不应以单位时间为基准，而应以整个周期为基准。确定设备的操作周期，正是时间平衡的对象。间隙操作周期，是由一系列循序的操作组成的。如一个间歇操作的精馏塔，每一周期（每个循环）包括下面的重复操作过程：装料前的准备、装料、预热与收集前的操作、收集馏分 I、II……等的分离，清除釜底残物、检查塔的状态、小修等等。应当注意，时间平衡的每一项以后将用来求算必要的数值，特别是设备尺寸。如装料所需时间，可用来计算装料连接管的直径。

对计算基准的选择是否恰当，是一个值得注意的问题。

对连续过程，由于操作状态和条件不随时间而改变，以单位时间（小时）作计算基准较为方便。如：公斤/小时、吨/小时、千焦/小时、瓦等。

对间歇过程，以分批计算进出料量较为恰当，公斤/循环、吨/循环、千焦/循环。为了方便起见，热量可以折算为单位时间的负荷（如千焦/小时）来计算。

第二节 物料衡算

一、总物料衡算式

物料衡算的依据——质量守恒定律。尽管物料在加工过程中发生了各种变化，但物料的质量是不会增减的（核裂变